

(19)



JAPANESE PATENT OFFICE

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11) Publication number: **03288406 A**(43) Date of publication of application: **18 . 12 . 91**

(51) Int. Cl.

H01F 1/34
C04B 35/00
(21) Application number: **02090747**(71) Applicant: **MURATA MFG CO LTD**(22) Date of filing: **04 . 04 . 90**(72) Inventor: **KONOIKE TAKEHIRO**
TAMURA HIROSHI
(54) MAGNETIC-SUBSTANCE COMPOSITION FOR
MICROWAVE AND MILLIMETER WAVE USE

(57) Abstract:

PURPOSE: To reduce a ferromagnetic resonance absorption half-width (ΔH) by a method wherein one part of an Fe site of a YIG ferrite expressed by $Y_wFe_{8-w}O_{12}$ as a general formula is substituted for Mn and cobalt oxide and zirconium oxide are added simultaneously.

CONSTITUTION: A magnetic-substance composition for microwave and millimeter wave use is composed mainly of a composition in which, in a composition expressed by $(Y_{1-x}Gd_x)_w(Fe_{1-y-z}Al_yMn_z)_{8-w}O_{12}$, x, y, z and w are within respective ranges of $0 \leq x \leq 0.35$, $0 \leq y \leq 0.16$, $0.01 \leq z \leq 0.04$

and $3.02 \leq w \leq 3.06$; 0.05mol% or higher and 0.2mol% or lower of cobalt oxide expressed in the form of CoO and zirconium oxide expressed in the form of ZrO_2 are added to it, respectively. By using the composition, a saturation magnetization $4\pi M_s$ can be set arbitrarily within a range of 320 to 1750 gauss. Consequently, a material having a value of $4\pi M_s$ which is most suitable for a frequency for which the composition is used can be selected. In addition, since a temperature coefficient α can be set arbitrarily within a range of -820 to -2250ppm/ $^{\circ}C$, the temperature characteristic of a magnet can be compensated when the composition is used by being combined with a permanent magnet or the like.

COPYRIGHT: (C)1991,JPO&Japio

⑩ 日本国特許庁(JP)

⑪ 特許出願公開

⑫ 公開特許公報(A) 平3-288406

⑬ Int. Cl.⁸

H 01 F 1/34
C 04 B 35/00

識別記号

J
J

庁内整理番号

6781-5E
8924-4G

⑭ 公開 平成3年(1991)12月18日

審査請求 未請求 請求項の数 1 (全7頁)

⑮ 発明の名称 マイクロ波・ミリ波用磁性体組成物

⑯ 特 願 平2-90747

⑰ 出 願 平2(1990)4月4日

⑱ 発 明 者 鴻 池 健 弘 京都府長岡京市天神2丁目26番10号 株式会社村田製作所内

⑲ 発 明 者 田 村 博 京都府長岡京市天神2丁目26番10号 株式会社村田製作所内

⑳ 出 願 人 株式会社村田製作所 京都府長岡京市天神2丁目26番10号

㉑ 代 理 人 弁理士 和 田 昭

明 細 書

1. 発明の名称

マイクロ波・ミリ波用磁性体組成物

2. 特許請求の範囲

$(Y_{1-x}Gd_x)(Fe_{1-y-z}M_zMn_z)_{0.9-1.0}$ で表わされる組成において、 x 、 y 、 z および w がそれぞれ $0 \leq x \leq 0.35$ 、 $0 \leq y \leq 0.16$ 、 $0.01 \leq z \leq 0.04$ 、 $3.02 \leq w \leq 3.06$ の範囲にある組成を主成分とし、これに CoO の形で表わした酸化コバルトおよび ZrO_2 の形で表わした酸化ジルコニウムをそれぞれ0.05モル%以上、0.2モル%以下添加含有してなるマイクロ波・ミリ波用磁性体組成物。

3. 発明の詳細な説明

<産業上の利用分野>

この発明は、マイクロ波やミリ波などの高周波領域において使用される磁性体組成物に関するものである。

<従来の技術>

従来、高周波用磁性体材料としては、 $Mn-Mg$ フェライト、 $Ni-Zn$ フェライト、リチウムフェラ

イト、 YIG フェライトなどが用いられている。

これらは、飽和磁化 ($4\pi M_s$) の値が500 ~ 4000 Gauss を有する優れた材料である。

これらの中でも YIG フェライトは、米国特許第3,132,105号に示されているように、 $Y_2Fe_3O_{12}$ からなる組成物に Gd と M を置換することによって $4\pi M_s$ および $4\pi M_s$ の温度係数 (α) を変化させることができるため、その使用する周波数に最も適した $4\pi M_s$ の値を有する材料を選択でき、かつ永久磁石と組み合わせて使用する場合にはその磁石の温度特性を補償することができるという優れた材料であり、高安定なアイソレータやサーキュレーターなどの回路素子に適用可能な材料である。

また、米国特許第3,419,496号によれば、この材料は体積抵抗率 ρ が $7.0 \times 10^8 \Omega \cdot cm$ と低い、 MnO_2 を添加することにより ρ を $4.9 \times 10^{11} \Omega \cdot cm$ まで高められるとされている。さらに、特公昭60-55970号公報によれば、原料の Y_2O_3 と Fe_2O_3 の混合比をそれぞれ38.63 ~

39.45 モル% および 61.37 ~ 60.55 モル% としたときに強磁性共鳴吸収半値幅 (ΔH) を 16 エルステッドにまで小さくできるとされている。

< 発明が解決しようとする課題 >

しかしながら、YIG フェライトは、 ΔH や誘電損失 ($\tan \delta$) 等の損失の値が微妙な組成の変動によって実用上支障をきたすほど大きくなるという欠点を有している。また、位相変換用素子としてこの材料を用いる場合、高い残留磁束密度 (B_r) が必要となるが、 B_r を大きくすると $\tan \delta$ も大きくなってしまいうという問題点がある。

この発明は上記の問題点に鑑みて、従来の YIG フェライトの欠点を改良すべくなされたものであり、 $Y_{1-x}Fe_xO_{3.0}$ の一般式で表わされる YIG フェライトの Y の一部を Gd で置換して α を任意の値に設定できるようにし、かつ Fe の一部を M で置換して $4\pi M_s$ を任意の値に設定できるようにするとともに、Fe の一部を Mn で置換すると同時に酸化コバルトと酸化ジルコニウムを添加して

$3.02 \leq x \leq 3.06$ の範囲にある組成を主成分とし、これに CoO の形で表わした酸化コバルトおよび ZrO_2 の形で表わした酸化ジルコニウムをそれぞれ 0.05 モル% 以上、0.2 モル% 以下添加含有してなることを特徴としている。

< 作用 >

この発明によれば、 $4\pi M_s$ を 320 ~ 1750 ガウスの範囲で任意に設定でき、従って、その使用する周波数に最も適した $4\pi M_s$ の値を有する材料を選択できる。

また、 α を -820 ~ -2550 ppm/°C の範囲で任意に設定できるため、永久磁石などと組み合わせて用いる場合に磁石の温度特性を補償することができる。

更に、 B_r が高く、かつ ΔH や $\tan \delta$ 等の損失の値がきわめて小さいため、ラッチング型位相変換器や高精度のアイソレータおよびサーキュレータへの応用に適したマイクロ波・ミリ波用磁性体を得ることができる。

上述したこの発明の目的、特徴および利点につ

わめて小さい ΔH の値を実現し、さらに、Y サイトと Fe サイトの比をごく限られた狭い範囲に固定することにより大きな B_r の値と小さな $\tan \delta$ の値を同時に実現させたマイクロ波・ミリ波用磁性体材料を提供することを目的とする。

< 課題を解決するための手段 >

本発明者らはかかる問題点を解決するために鋭意研究した結果、 $Y_{1-x}Fe_xO_{3.0}$ の一般式で表わされる YIG フェライトの、Fe サイトの一部を Mn で置換すると同時に酸化コバルトと酸化ジルコニウムを添加することによってきわめて小さい ΔH が得られることを見出し、さらに Y サイトと Fe サイトの比 x が 3.02 と 3.06 の間のごく狭い領域で大きな B_r と小さな $\tan \delta$ を同時に実現できることを見出したのである。

即ち、この発明のマイクロ波・ミリ波用磁性体組成物は、上記の問題点を解決するために $(Y_{1-x}Gd_x)_{1-y}(Fe_{1-z}M_zMn_z)_{y+z}O_{3.0}$ で表わされる組成において、 x 、 y 、 z および w がそれぞれ $0 \leq x \leq 0.35$ 、 $0 \leq y \leq 0.16$ 、 $0.01 \leq z \leq 0.04$ 、

いて、以下図面を参照して実施例により説明する。

< 実施例 >

先ず、原料として、高純度の Y_2O_3 、 Fe_2O_3 、 Gd_2O_3 、 M_2O_3 、 MnO_2 、 Co_2O_3 および ZrO_2 を準備した。これらの原料を第 1 表、第 2 表および第 3 表に示す組成が得られるように秤量し、ボールミルで 16 時間湿式混合した。この混合物を乾燥した後、1050°C で 2 時間仮焼し、仮焼物を得た。この仮焼物を有機バインダーと共に、ボールミルに入れ、16 時間湿式粉碎した。この粉碎物を乾燥した後、50 メッシュの網を通して造粒し、得られた粉末を 2000 kg/cm² の圧力で 3mm × 3mm × 20mm の角柱に成形した。この成形物を 1450 ~ 1490°C で 8 時間焼成した後、機械加工により直径 1.3mm の球および直径 1.3mm、長さ 16mm の円柱のサンプルを得た。

得られた球形サンプルについて、振動型磁力計を用いて $4\pi M_s$ およびキューリー温度 (T_c) を測定し、TE106 空洞共振器中で 10GHz における

ΔH を測定した。

また、円柱形サンプルについて、TH101-空周共振器中で振動法を用いて10GHzにおける $\tan\delta$ を測定した。

第1表は $(Y_{1-x}Gd_x)_{0.9}(Fe_{1-y-z}M,Mn_z)_{0.1}O_{1.2}$ で表わされる組成の、 x および y を変化させ、かつ CoO の形で表わした酸化コバルトおよび ZrO_2 の形で表わした酸化ジルコニウムの添加量を変化させたときの測定結果である。第1表中※印はこの発明の範囲外であり、それ以外はすべてこの発明の範囲内のものである。さらに、第1表に示した実験例の組成範囲を、第1図の組成図中に示した。この図面中の番号は、各試料番号を表わす。なお、第1図において、この発明の範囲内にある組成比を示す領域は、頂点A、B、CおよびDを有する四角形で示されている。

ここで、 $(Y_{1-x}Gd_x)_{0.9}(Fe_{1-y-z}M,Mn_z)_{0.1}O_{1.2}$ で表わされる組成の、 x および y をそれぞれ $0 \leq x \leq 0.35$ 、 $0 \leq y \leq 0.15$ の範囲に限定した理由について説明する。

好ましくない。

ここで、 ZrO_2 の作用は、原子価が2価のコバルトイオンを原子価が4価のジルコニウムイオンで原子価を互いに補償し、合計で3価にして $(Y_{1-x}Gd_x)_{0.9}(Fe_{1-y-z}M,Mn_z)_{0.1}O_{1.2}$ で表わされる組成の、 $(Fe_{1-y-z}M,Mn_z)$ サイトに電荷的に無理なくそれぞれのイオンを組み込むことにある。従って、 ZrO_2 の代わりに SiO_2 、 TiO_2 、 GeO_2 、 SnO_2 、 HfO_2 等の4価イオンの酸化物を用いても同様の効果を得ることができる。

次に、第2表は、 $(Y_{1-x}Gd_x)_{0.9}(Fe_{1-y-z}M,Mn_z)_{0.1}O_{1.2}$ で表わされる組成の、 z を変化させたときの測定結果である。

第2表中の試料番号26~30は、第1表中の試料番号4の組成について z を変化させたものであり、第2表中の試料番号31~35は、第1表中の試料番号11の組成について z を変化させたものであり、第2表中の試料番号36~40は、第1表中の試料番号18の組成について z を変化させたものである。

試料番号7、14、21および25のように y が0.16を超えると B_r が小さくなるとともに、 T_c が低くなり好ましくない。

また、試料番号22、23、24および25のように x が0.35を超えると ΔH が大きくなり好ましくない。

次に、 CoO の形で表わした酸化コバルトおよび ZrO_2 の形で表わした酸化ジルコニウムの添加量をそれぞれ0.05モル%以上、0.2モル%以下に限定した理由について説明する。

まず、試料番号2、9および15は CoO および ZrO_2 の添加量がそれぞれ0モル%の例であり、この発明の範囲から除外される。

試料番号3、10および17のように CoO および ZrO_2 の添加量がそれぞれ0.05モル%以下のものは、 ΔH の改善効果が顕著でなく、この発明の範囲から除外される。

試料番号5、12および19のように CoO および ZrO_2 の添加量がそれぞれ0.2モル%を超えるものは、 ΔH が大きくなるとともに B_r が小さくなり

第2表中※印は、この発明の範囲外であり、それ以外はすべてこの発明の範囲内のものである。尚、第2表に示した実験例の組成範囲を、第1表と同じく第1図の組成図中に示した。この図面中の番号は、各試料番号を表わす。

ここで、 $(Y_{1-x}Gd_x)_{0.9}(Fe_{1-y-z}M,Mn_z)_{0.1}O_{1.2}$ で表わされる組成の、 z を $0.01 \leq z \leq 0.04$ に限定した理由について説明する。

試料番号26、31および36のように z が0.01以下になると、 ΔH が大きくなり好ましくない。

また、試料番号30、35および40のように z が0.04以上になると、 ΔH が大きくなり好ましくない。

最後に、第3表は $(Y_{1-x}Gd_x)_{0.9}(Fe_{1-y-z}M,Mn_z)_{0.1}O_{1.2}$ で表わされる組成の、 w を変化させたときの測定結果である。

第3表中の試料番号41~45は、第1表中の試料番号4の組成について w を変化させたものであり、第3表中の試料番号46~50は、第1表中の試料番号11の組成について w を変化させたものであ

り、第3表中の試料番号51~55は、第1表中の試料番号18の組成について ν を変化させたものである。

第3表中※印は、この発明の範囲外であり、それ以外はすべてこの発明の範囲内のものである。なお、第3表に示した実験例の組成範囲を、第1表、第2表と同じく第1図の組成図中に示した。この図面中の番号は、各試料番号を表わす。

ここで、 $(Y_{1-x}Gd_x)_{0.8}(Fe_{1-x-y}Al_yMn_z)_{0.2}O_{1.8}$ で表わされる組成の、 ν を $3.02 \leq \nu \leq 3.06$ の範囲に限定した理由について第3表および第2図を参照して説明する。

試料番号41、45および51のように ν が3.02以下になると、 $\tan \delta$ が大きくなり好ましくない。

また、試料番号45、50および55のように ν が3.06以上になると、 ΔH が大きくなるとともに、 Br が小さくなり好ましくない。

第2図は、試料番号45~50について $(Y_{1-x}Gd_x)_{0.8}(Fe_{1-x-y}Al_yMn_z)_{0.2}O_{1.8}$ の ν と $\tan \delta$ の常用対数値($\log \tan \delta$)および Br の関係を図示した

ものである。第2図から明らかなように、 ν が $3.02 \leq \nu \leq 3.06$ の範囲のみにおいて大きな Br と小さな $\tan \delta$ が同時に実現可能である。なお、第2図中の番号は、各試料番号を表わす。

第 1 表

試料 番号	$(Y_{1-x}Gd_x)_{0.8}(Fe_{1-x-y}Al_yMn_z)_{0.2}O_{1.8}$				CoO 添加量 (%)	ZrO ₂ 添加量 (%)	4 π Ms (G)	α ppm/°C	ΔH (kJ/mol)	$\tan \delta$ ($\times 10^{-1}$)	Br (G)	Hc (kJ/mol)	Tc (°C)
	x	y	z	w									
1	0	0	0.02	3.04	0.1	0.1	1750	-2480	25	8.2	1410	0.64	280
2※	"	0.06	"	"	0	0	1220	-2520	29	7.9	1005	0.72	215
3※	"	"	"	"	0.01	0.01	"	-2510	27	"	930	0.71	210
4	"	"	"	"	0.1	0.1	"	"	15	7.7	960	"	"
5※	"	"	"	"	0.5	0.5	1190	-2470	51	9.5	750	0.80	"
6	"	0.16	"	"	0.1	0.1	750	-2550	25	8.0	580	0.70	180
7※	"	0.20	"	"	"	"	330	-2640	38	12.7	260	1.10	90
8	0.20	0	0.02	3.04	0.1	0.1	1470	-2090	25	6.5	1220	0.66	280
9※	"	0.06	"	"	0	0	900	-2010	33	6.3	755	0.71	235
10※	"	"	"	"	0.01	0.01	"	-2000	32	6.2	750	0.70	230
11	"	"	"	"	0.1	0.1	"	-1990	17	6.0	720	0.69	"
12※	"	"	"	"	0.5	0.5	880	-1940	61	6.8	580	0.81	"
13	"	0.16	"	"	0.1	0.1	450	-2240	30	6.4	360	0.80	190
14※	"	0.20	"	"	"	"	280	-2390	39	9.5	220	0.83	110
15	0.35	0	0.02	3.04	0.1	0.1	1120	-740	32	9.9	910	0.72	260
16※	"	0.06	"	"	0	0	700	-918	42	13.5	580	0.82	220
17※	"	"	"	"	0.01	0.01	"	-900	40	13.4	"	0.80	"
18	"	"	"	"	0.1	0.1	590	-890	29	12.1	550	0.76	"
19※	"	"	"	"	0.5	0.5	670	-820	58	14.9	440	0.91	230
20	"	0.16	"	"	0.1	0.1	320	-1080	36	13.6	230	0.81	170
21※	"	0.20	"	"	"	"	170	-1270	49	14.0	140	0.72	100
22※	0.42	0	0.02	3.04	0.1	0.1	970	-630	74	12.6	810	0.89	250
23※	"	0.06	"	"	"	"	970	-640	91	13.2	410	0.96	210
24※	"	0.16	"	"	"	"	210	-850	93	14.6	90	1.10	160
25※	"	0.20	"	"	"	"	120	-850	97	15.0	70	1.02	85

第 2 表

試料 番号	(Y _{1-x} Gd _x) ₂ (Fe _{1-y-z} Al _y W _z) ₂ O ₇				CoO 添加量 (%)	ZrO ₂ 添加量 (%)	4 π Ms (G)	α ppm/°C	ΔH (MJ/g)	tan δ (×10 ⁻³)	Br (G)	Hc (MJ/g)	Tc (°C)
	x	y	z	w									
25系	0	0.08	0	3.04	0.1	0.1	1180	-2430	45	7.8	870	0.85	210
27	"	"	0.01	"	"	"	"	-2500	34	8.8	850	0.72	220
28	"	"	0.02	"	"	"	1220	-2510	15	7.7	850	0.71	210
29	"	"	0.04	"	"	"	1180	-2330	25	9.2	940	0.69	"
30系	"	"	0.06	"	"	"	1160	-2290	39	13.6	950	0.91	"
31系	0.20	0.08	0	3.04	0.1	0.1	890	-2070	62	6.1	740	0.75	230
32	"	"	0.01	"	"	"	"	-1970	40	4.8	"	0.68	240
33	"	"	0.02	"	"	"	900	-1990	17	6.0	730	0.69	230
34	"	"	0.04	"	"	"	860	-1870	34	9.4	720	0.73	"
35系	"	"	0.06	"	"	"	870	-1910	77	21.6	"	0.81	220
36系	0.35	0.08	0	3.04	0.1	0.1	690	-870	66	12.4	630	0.77	220
37	"	"	0.01	"	"	"	700	"	68	11.6	640	0.81	210
38	"	"	0.02	"	"	"	690	-890	20	12.1	650	0.76	220
39	"	"	0.04	"	"	"	"	-850	44	19.4	620	0.78	210
40系	"	"	0.06	"	"	"	"	-840	82	29.6	600	0.85	"

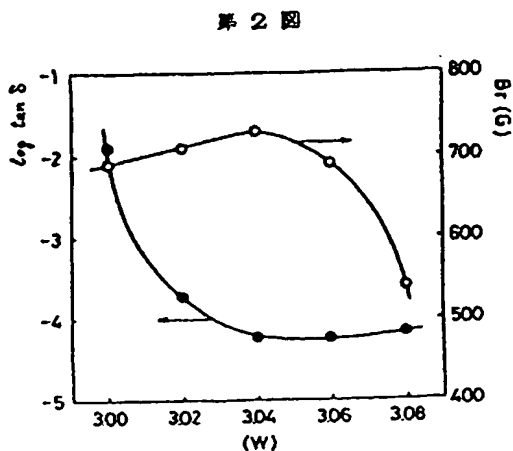
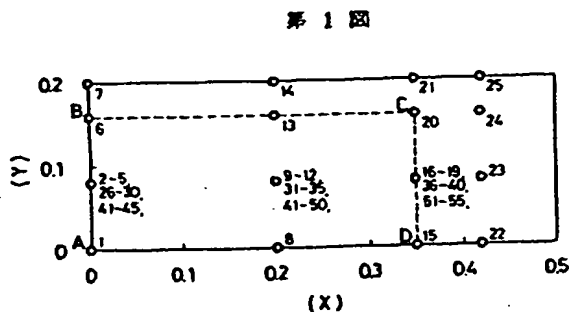
第 3 表

試料 番号	(Y _{1-x} Gd _x) ₂ (Fe _{1-y-z} Al _y W _z) ₂ O ₇				CoO 添加量 (%)	ZrO ₂ 添加量 (%)	4 π Ms (G)	α ppm/°C	ΔH (MJ/g)	tan δ (×10 ⁻³)	Br (G)	Hc (MJ/g)	Tc (°C)
	x	y	z	w									
41系	0	0.08	0.02	3.00	0.1	0.1	1240	-2510	25	1173.6	910	0.85	220
42	"	"	"	3.02	"	"	"	-2440	26	20.1	930	0.71	"
43	"	"	"	3.04	"	"	1220	-2510	15	7.7	950	"	210
44	"	"	"	3.06	"	"	1210	-2410	26	7.9	920	0.63	"
45系	"	"	"	3.08	"	"	1180	-2390	35	8.9	880	0.57	"
46系	0.20	0.08	0.02	3.00	0.1	0.1	910	-1870	39	1324.9	690	0.73	240
47	"	"	"	3.02	"	"	890	-1910	25	18.8	710	0.70	220
48	"	"	"	3.04	"	"	900	-1990	17	6.0	730	0.69	230
49	"	"	"	3.06	"	"	880	-1870	27	6.8	690	0.68	240
50系	"	"	"	3.08	"	"	890	-1880	39	6.5	640	0.66	220
51系	0.35	0.08	0.02	3.00	0.1	0.1	720	-880	35	1226.1	580	0.77	220
52	"	"	"	3.02	"	"	690	-890	31	16.6	640	0.74	"
53	"	"	"	3.04	"	"	"	"	20	12.1	650	0.76	"
54	"	"	"	3.06	"	"	660	-780	32	11.9	470	0.75	210
55系	"	"	"	3.08	"	"	670	-790	46	14.8	400	0.77	"

以上、詳細に説明した通り、この発明にかかるマイクロ波・ミリ波用磁性体組成物は十分に小さい ΔH と十分に小さい $\tan\delta$ を有し、かつ高い T_c と大きな B_r を有しているため、ラッチング型位相変換器や高安定なアイソレータやサーキュレータなどの回路素子への応用に大変有用な材料である。さらに、 $(Y_{1-x}Gd_x)(Fe_{1-y}Mn_y)_{0.5}$ の化学式で表わされる x および y をこの発明の範囲内で適宜変化させることによって、 $4\pi Ms$ を320～1750ガウスの範囲で任意に設定でき、かつ、 α を-820～-2550ppm/°Cの範囲で任意に設定できる。従って、その使用する周波数に最も適した $4\pi Ms$ の値を有する材料を選択できるとともに、永久磁石などと組み合わせて用いる場合に磁石の温度特性を補償することができる。

4. 図面の簡単な説明

第1図はこの発明にかかるマイクロ波・ミリ波用磁性体組成物の、 $(Y_{1-x}Gd_x)(Fe_{1-y}Mn_y)_{0.5}$ の x および y の組成範囲を表わす



組成図、第2図は第3表中の試料番号46～50について $(Y_{1-x}Gd_x)(Fe_{1-y}Mn_y)_{0.5}$ の W と $\tan\delta$ の常用対数値($\log \tan \delta$)および B_r の関係を示したグラフである。

出願人代理人 弁理士 和田 昭

手続補正書 (自発)

平成2年7月4日

特許庁長官 殿

1. 事件の表示
平成2年特許願第90747号
2. 発明の名称
マイクロ波・ミリ波用磁性体組成物
3. 補正をする者
事件との関係 特許出願人

住 所 京都府長岡京市天神二丁目26番10号

名 称 (623) 株式会社村田製作所

4. 代理人

方式 審査 (関)

住 所 〒531 大阪市北区中津1丁目18番18号

若杉ビル

氏 名 (6757) 弁理士 和田 昭
電話(06) 373-1355

5. 補正の対象

明細書の「発明の詳細な説明」の欄

特許庁
2. 5

6. 補正の内容

(1) 明細書第6頁13行目～第7頁4行目

「粉末を2000kg/cm²の圧力で $\sim \tan \delta$ を測定した。」を次の通り訂正します。

「粉末を2000kg/cm²の圧力で3mm×3mm×20mmの角柱および外径36mm、内径24mm、厚さ6mmのリングに成形した。これらの成形物を1460～1490℃で8時間焼成した。このうち角柱焼結体について機械加工を行ない、直径1.3mmの球および直径1.3mm、長さ16mmの円柱のサンプルを得た。

得られたサンプルのうち球形サンプルについて、振動型磁力計を用いて4πMs、4πMsの温度係数(α)およびキュリー温度(Tc)を測定し、TE106空洞共振器中で10GHzにおけるΔHを測定した。

また、円柱形サンプルについて、TM101空洞共振器中で振動法を用いて

10GHzにおけるtan δを測定した。

さらに、リング状サンプルについて、導線をバイファイラー巻きにしてトロイダルコイルを形成し、100Hzにおける残留磁束密度(Br)および抗磁力(Hc)を測定した。」